



**You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice**

Title: Badania nad sejsmicznością w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym - ewolucja poglądów na pochodzenie wstrząsów

Author: Waław M. Zuberek

Citation style: Zuberek Waław M. (2010). Badania nad sejsmicznością w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym - ewolucja poglądów na pochodzenie wstrząsów. W: W. M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), "Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym" (S. 9-13). Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersytet ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

1. Badania nad sejsmicznością w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym — ewolucja poglądów na pochodzenie wstrząsów

Dzisiaj wiadomo, że występowanie sejsmiczności indukowanej w obszarze eksploatacji górniczej jest wynikiem naruszenia równowagi w górotworze i przejawem niestabilnego wyzwalań akumulowania w nim energii odkształcenia, przy czym źródła akumulowanej energii mogą być różne — zwykle są to naprężenia eksploatacyjne, które mogą się nakładać na naprężenia tektoniczne, lub obserwujemy je w górotworze o właściwościach zdeterminowanych budową i historią geologiczną obszaru.

Z naukowego punktu widzenia bardzo istotne jest wyróżnienie naprężeń eksploatacyjnych i ewentualnej składowej tektonicznej, jednakże już R. TEISSEYRE (1983) stwierdził, że „rozdzielanie wstrząsów na eksploatacyjne i tektoniczne może być trudne i bezprzedmiotowe, jeśli powiązanie naturalnej tektoniki i długotrwałej eksploatacji doprowadziło do pola naprężeń, które ze względu na swój charakter i zasięg trudno rozdzielić na części różne przyczynowo”. Z tego też względu tylko długotrwałe badania i obserwacje oraz monitoring obszaru mogą doprowadzić do pewnych korelacji, z których można wyciągnąć odpowiednie wnioski. W tym sensie za charakterystyczną i pouczającą należy uznać wyraźną ewolucję poglądów na genezę wstrząsów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym.

Początkowo wstrząsom pojawiającym się w GZW przypisywano głównie pochodzenie tektoniczne, stwierdzając układanie się ognisk wstrząsów wzdłuż pewnych kierunków, w przybliżeniu zgodnych z biegiem głównych uskoków w zagłębiu, przy czym rejestrowano wtedy jedynie najsilniejsze z nich, a dokładność lokalizacji ognisk była niewielka. Najbardziej znanymi reprezentantami tego poglądu byli profesorowie E.W. JANCZEWSKI (1955, 1957) i W. BUDRYK (1955) z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, choć trzeba

przyjąć, że byli świadomi wpływu eksploatacji na występowanie tych zjawisk.

W miarę rozwoju aparatury zagęszczenia sieci obserwacyjnej i doskonalenia metod interpretacji zapisów szybko obniżał się poziom detekcji wykrywanych wstrząsów, a ponieważ większość ognisk wyraźnie wiązała się z eksploatacją górniczą i przemieszczała się wraz z postępem frontów eksploatacyjnych, upowszechnił się pogląd o eksploatacyjnym pochodzeniu wstrząsów, który w literaturze najczęściej reprezentowali Z. WIERZCHOWSKA (1961) i J. ZNAŃSKI (WIERZCHOWSKA, ZNAŃSKI, 1972). Nie wszyscy jednak podzielali w pełni ten punkt widzenia, gdyż były przesłanki dla dopatrywania się w przypadkach niektórych wstrząsów wpływów tektonicznych (GIBOWICZ, 1963; TEISSEYRE, 1972), tym bardziej, że pojawiały się niezależne dowody oddziaływań tektonicznych na obszarze Górnego Śląska lub w jego sąsiedztwie (KOTAS, 1972; KOWALCZYK, 1972; JURA, 1996; TEPER, 1998). Aktualnie oba wcześniejsze, pozornie sprzeczne, poglądy na temat genezy wstrząsów górniczych w sposób spójny łączy teza o bimodalności (lub multimodalności) rozkładu energetycznego tych zjawisk, co jest już powszechnie akceptowane w sejsmologii górniczej (DESSOKEY, 1984; MARCAK, 1985; KIJKO i in., 1985, 1986, 1987; ZUBEREK, 1986; LASOCKI, 1988; STANKIEWICZ, 1989; IDZIAK i in., 1991; GIBOWICZ, KIJKO, 1994; GIBOWICZ, LASOCKI, 2001).

Istotą tej koncepcji jest założenie, że rozkład energetyczny wstrząsów indukowanych jest nałożeniem się na siebie co najmniej dwóch mód — nisko- i wysokoenergetycznej. Moda niskoenergetyczna reprezentująca przeważającą liczbę wstrząsów (głównie słabszych) bezpośrednio wiąże się z eksploatacją górniczą (pękanie górotworu w otoczeniu wyrobisk). Moda wysokoenergetyczna jest wyni-

kiem współoddziaływań naprężeń eksploatacyjnych z geologią lub naprężeniami tektonicznymi.

Wstrząsy niskoenergetyczne wiążą się wyraźnie i bezpośrednio z eksploatacją złoża, powstają w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobisk górniczych, ich ognisk, a przemieszczają się wraz z postępującym frontem eksploatacji. Sejsmiczność tej mody energetycznej wstrząsów uzależniona jest od właściwości górotworu, wielkości wybranego obszaru, sposobu kierowania stropem i prędkości eksploatacji, a maksymalna wielkość wstrząsu będzie zależała od właściwości górotworu (KUKO, 1985; MARCAK, 1985; SYREK, KUKO, 1988; DUBIŃSKI, KONOPKO, 2000; STEC, 2007).

Wstrząsy górnicze o najwyższych energiach sejsmicznych są o wiele rzadsze i mniej poznane. Mają bardziej regionalny zasięg; często trudno znaleźć ich bezpośredni związek z eksploatacją górniczą, a nawet nie zawsze są widoczne skutki takich wstrząsów w wyrobiskach górniczych, chociaż zniszczenia na powierzchni mogą być znaczne. Przypuszcza się, że naprężenia tektoniczne, aktualne lub rezydualne, mogą mieć udział w generowaniu tego typu zjawisk (TEISSEYRE, 1983; GIBOWICZ, 1990; ZUBEREK, 1993), a część z nich to poślizgi na płaszczyznach nieciągłości lub osłabień w górotworze (RYDER, 1988). Rozkłady energetyczne tej mody wstrząsów są odmienne w różnych rejonach geologiczno-strukturalnych, co sugeruje związek wstrząsów mody wysokoenergetycznej z budową geologiczną (IDZIAK i in., 1991). Badania geologii obszarów górniczych w rejonie Górnego Śląska pozwoliły na sformułowanie wiarygodnego modelu deformacji, który umożliwia korelację występowania sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą z tektoniką regionalną (TEPER i in., 1992; SAGAN i in., 1996; ZUBEREK i in., 1996, 1997; TEPER, 1998).

Rozkład energetyczny wstrząsów z rejonu GZW występuje w formie podobnej do rozkładu hiperbolicznego (rozkładu Gutenberga — Richtera), chociaż odchylenia bywają dość duże, a wartości współczynnika b dla rejonu GZW wynoszą $0,7 \leq b \leq 3,0$ (PIERWOŁA, 1998). Na parametry rozkładu energetycznego ma wpływ wiele czynników geologicznych oraz technologiczne parametry prowadzonej eksploatacji złoża, w związku z czym wartość współczynnika b tego rozkładu ulega zmianom w czasie oraz uzyskuje się inne wartości w różnych rejonach zagłębia (DUBIŃSKI, SYREK, 1990; PIERWOŁA, 1998; IDZIAK i in., 1999). J. PIERWOŁA (1998) uważa, że różnice w budowie geologicznej poszczególnych jednostek strukturalnych GZW decydują o zróżnicowaniu zdolności górotworu do wyzwalamia akumulowanej energii odkształcenia, przyjmując niższe wartości w rejonach

o możliwości występowania silnych wstrząsów (charakterystycznych dla kruchego typu deformacji) i wyższe wartości dla obszarów o wysokiej sejsmiczności, ale głównie wstrząsów o niższych energiach (typowych dla obszarów deformujących się ciągliwie).

W dystrybucjach energii sejsmicznej wstrząsów zaznacza się bimodalność rozkładów (ZUBEREK, 1986; IDZIAK i in., 1991; IDZIAK i in., 1999), co może wskazywać albo na odmienny mechanizm generowania wstrząsów w różnych warstwach górotworu o różnych właściwościach, albo na wpływ naprężeń tektonicznych na występowanie najsilniejszych wstrząsów (KUKO i in., 1986; ZUBEREK, 1986; IDZIAK i in., 1991, 1999; GIBOWICZ, KUKO, 1994).

Występowanie rozkładu energetycznego wstrząsów w formie rozkładu Gutenberga — Richtera może mieć także interpretację fraktalną, przy czym stwierdzono, że wskutek występowania bimodalności odbiega on od rozkładu fraktalnego (IDZIAK, ZUBEREK, 1995), co jednak nie wyklucza, że w zakresie poszczególnych mód rozkładu energii mogą być fraktalne (IDZIAK i in., 1999).

Rozkład epicentrów silnych wstrząsów (o energii większej od 1 MJ) na obszarze GZW nie jest rozkładem jednorodnym; występują wyraźne skupiska ognisk wstrząsów, a najsilniejsze wstrząsy (o energii > 100 MJ) zaobserwowano w większości w siodle głównym i w niecce bytomskiej (IDZIAK i in., 1999). Ostatnio jednak sejsmiczność w niecce bytomskiej wyraźnie maleje. Rozkład epicentrów wstrząsów jest samopodobny w sensie statystycznym i tworzy losowy zbiór fraktalny o zróżnicowanym wymiarze fraktalnym w poszczególnych subjednostkach strukturalnych GZW, co może być jednym z dowodów na to, że sejsmiczność zagłębia ma charakter regionalny (TEPER, IDZIAK, 1995) i musi być traktowana całościowo, z uwzględnieniem zarówno dużych skupisk wstrząsów, jak i obszarów asejsmicznych (IDZIAK i in., 1999).

Badania poissonowskiego charakteru sekwencji wstrząsów w GZW wskazują, że serie wstrząsów mogą być traktowane jako realizacje uogólnionego, punktowego procesu Poissona ze zmienną w czasie średnią aktywnością sejsmiczną (LASOCKI, 1992; IDZIAK i in., 1999).

Badania rozkładu epicentrów w sekwencjach czasowych silnych wstrząsów występujących w GZW wykazały kierunkowe tendencje powstawania kolejnych wstrząsów zarówno wewnątrz skupień ognisk, jak i między nimi (IDZIAK, 1996; IDZIAK, LASOCKI, 1997; LASOCKI, IDZIAK, 1998). Wykazano (IDZIAK i in., 1999), że epicentra następujących po sobie wstrząsów nie są rozmieszczone losowo, lecz układają się zgodnie z pewnymi trendami kierunkowymi. Analizując zaś sekwencje cza-

sowe silnych wstrząsów w rejonie siodła głównego i niecki bytomskiej, stwierdzono przemienność występowania ognisk, tzn. wystąpienie silnego wstrząsu np. w siodle głównym z dużym prawdopodobieństwem wywoła silny wstrząs w niecce bytomskiej, a odchylenie kierunku wyznaczonego przez ogniska będzie podobne do kierunku dominującego (-230°) (IDZIAK i in., 1999).

Przeprowadzone badania i analizy obrazów satelitarnych Landsat i ERS-2 (InSAR) pozwoliły na wydzielenie w obszarze GZW wielu lineamentów (PILECKA i in., 2006) i stwierdzenie ich jakościowych związków z pojawieniem się silniejszych wstrząsów, chociaż występowanie lineamentów i ich związki z tektoniką obszaru nie są w pełni jednoznaczne i obserwuje się ich dużą zmienność w czasie, co trudno uzasadnić.

Bardzo ciekawe informacje dotyczące warunków powstawania wstrząsu w źródle dostarcza inwersja tensora momentu sejsmicznego, która pozwala na wyznaczenie składowych tensora na podstawie zarejestrowanych seismogramów przemieszczenia w kilku stacjach rozmieszczonych wokół ogniska wstrząsu i znanej funkcji Greena, charakteryzującej propagację fal w ośrodku geologicznym, przy założeniu typu funkcji opisującej pobudzenie ośrodka w źródle (GILBERT, 1973; AKI, RICHARDS, 1980; GIBOWICZ, 1992).

Tensor ten można rozłożyć, czyli zdekomponować (w sposób jednoznaczny) na część izotropową (I), opisującą odkształcenie objętości (ściskanie lub rozciąganie), i część dewiatorową (D), opisującą odkształcenia postaci. Część dewiatorową rozkłada się dalej (już niejednoznacznie) na tensor opisujący działanie pary sił bez momentu obrotowego, tzw. liniowy dipol skompensowany CLVD, powodujący osiowe ściskanie lub rozciąganie ośrodka, oraz tensor opisujący podwójną parę sił (DC), odpowiedzialny za czyste ścinanie w źródle. Wykorzystanie tak prowadzonej dekompozycji tensora momentu sejsmicznego w przypadku wstrząsów górniczych pozwoliło stwierdzić, że występujące w nich mechanizmy odbiegają od typowej podwójnej pary sił i często zawierają składową izotropową (I) implozyjną lub eksplozyjną, a także liniowy dipol skompensowany (CLVD) (GIBOWICZ, 1990, 1992; MCGARR, 1984; FEIGNER, YOUNG, 1993; DUBIEL, 1996; ZUBEREK i in., 1996, 1997; IDZIAK i in., 1997, 1999; WIEJACZ, ŁUGOWSKI, 1997; STEC, 2007), chociaż większość z nich wykazuje znaczny (ponad 70%) udział składowej DC wskazującej na czyste ścinanie. Mechanizm wstrząsów typowo eksploatacyjnych ma związek z eksploatacją (pękanie pokładu lub skał stropowych).

W mechanizmach wstrząsów tektoniczno-górniczych widoczny jest natomiast wpływ tektoniki re-

gionalnej i współczesnych procesów dynamicznych (SAGAN i in., 1996; IDZIAK i in., 1997, 1999; MUTKE, STEC, 1997; STEC, 2007). W mechanizmie ścinającym tensora momentu sejsmicznego zaznaczają się dwie płaszczyzny nodalne wzajemnie prostopadłe (z których jedna jest płaszczyzną zniszczenia — przyjmuje się tę o większym kącie upadu).

W GZW zaobserwowano trzy grupy wstrząsów (IDZIAK i in., 1999) różniących się upadami płaszczyzn nodalnych, a mianowicie:

- grupa pierwsza — jedna z płaszczyzn podobna do pionowej, uskoki normalne (IDZIAK i in., 1997; TEPER i in., 1992);
- grupa druga — kąty upadu pośrednie (30° — 70°) — uskoki normalne i odwrócone; K. STEC (1994) stwierdza, że wstrząsy o mechanizmach normalnych powstają w wyniku wstrząsów generowanych daleko przed frontem eksploatacji, a występujące mechanizmy uskoków odwróconych wskazujących na naprężenia poziome nie są całkowicie jasne;
- grupa trzecia to wstrząsy, w których obie płaszczyzny nodalne zapadają pod dużym kątem, wektor poślizgu zaś jest prawie poziomy; są to wstrząsy o mechanizmie zrzutowo-przesuwczym oraz przesuwczym (STEC, 1994; IDZIAK i in., 1997) potwierdzające na występowanie nacisków poziomych.

Literatura

- AKI K., RICHARDS P.C., 1980: *Quantitative seismology. Theory and Methods*. San Francisco, W.H. Freeman & Co.
- BUDRYK W., 1955: *Skutki trzęsień w kopalniach górnośląskich*. Arch. Górn. Hutn., 3, 2, s. 227—290.
- DESSOKEY M.M., 1984: *Statistical models of seismic hazard analysis for mining tremors and natural earthquakes*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., A-15, s. 174.
- DUBIEL R., 1996: *The mechanisms of mining tremors from Śląsk coal mine area*. Acta Montana, A(100), s. 27—34.
- DUBIŃSKI J., KONOPKO W., 2000: *Tapania, ocena, prognoza, zwalczanie*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, 378 s.
- DUBIŃSKI J., SYREK B., 1990: *Kształtowanie się parametru b rozkładu Gutenberga — Richtera w aktywnych sejsmicznie rejonach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Acta Montana, A(83), s. 143—158.
- FEIGNER B., YOUNG R.P., 1992: *Failure mechanisms of micro-seismic events generated by a breakout development around an underground opening*. In: Proc. 3 rd Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines. Ed. R.P. YOUNG. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 181—186.
- GIBOWICZ S.J., 1963: *Klasyfikacja energetyczna wstrząsów podziemnych na Górnym Śląsku i częstotliwość ich występowania w zależności od energii*. Arch. Górn., 8, 1, s. 17—40.
- GIBOWICZ S.J., 1990: *Seismicity induced by mining*. Adv. Geophysics [Academic Press] 32, s. 1—74.

- GIBOWICZ S.J., 1992: *Seismic moment tensor and its application in mining seismicity studies: A review*. Acta Montana, A(88), s. 37—69.
- GIBOWICZ S.J., KIJKO A., 1994: *An introduction to mining seismology*. Int. Geoph. [San Diego—New York, Academic Press], 399 s.
- GIBOWICZ S.J., LASOCKI S., 2001: *Seismicity induced by mining: ten years later*. Adv. Geophysics [San Diego—San Francisco—New York, Academic Press], s. 39—181.
- GILBERT F., 1973: *Derivation of source parameters from low-frequency spectra*. Phil. Trans. R. Soc., A 274, s. 369—371.
- IDZIAK A.F., 1996: *Spatial distribution of the induced seismicity in the Upper Silesian Coal Basin*. In: *Tectonophysics of mining areas*. Ed. A.F. IDZIAK. Katowice, Uniwersytet Śląski, s. 99—109.
- IDZIAK A.F., LASOCKI S., 1997: *Badania struktury seryjnej indukowanych wstrząsów sejsmicznych z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. In: *Vysledky novych studii v seismologii a inženýrské geofyzice*. Ed. Z. KALAB. Ostrava—Poruba, Ústav Geoniky AVCR, s. 151—158.
- IDZIAK A.F., SAGAN G., ZUBEREK W.M., 1991: *Analiza rozkładów energetycznych wstrząsów z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., M-15, s. 1163—1182.
- IDZIAK A.F., TEPPER L., ZUBEREK W.M., SAGAN G., DUBIEL R., 1997: *Mine tremor mechanisms used to estimate the stress field near the deep rooted fault in the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. In: *Proc. 4th Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines*, Kraków. Eds. S.J. GIBOWICZ, S. LASOCKI. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 31—37.
- IDZIAK A.F., TEPPER L., ZUBEREK W.M., 1999: *Sejsmiczność a tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice, Uniwersytet Śląski, 98 s.
- IDZIAK A.F., ZUBEREK W.M., 1995: *Fractal analysis of mining induced seismicity in the Upper Silesian Coal Basin*. In: *Mechanics of Jointed and Faulted Rocks — 2*. Ed. H.P. ROSSMANITH. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 679—682.
- JANCZEWSKI E.W., 1955: *Trzęsienie ziemi na Górnym Śląsku*. Arch. Górn. Hutn. 3, 2, s. 205—225.
- JANCZEWSKI E.W., 1957: *Sejsmiczna aktywność dyslokacji w podłożu karbonu górnośląskiego*. Przegl. Geol., 6, s. 280—282.
- JURA D., 1996: *Young Alpine stress field in the Bytom — Katowice Plateau, Northern Part of the Upper Silesian Coal basin*. In: *Tectonophysics of mining areas*. Ed. A. IDZIAK. Katowice, Uniwersytet Śląski, s. 29—40.
- KIJKO A., 1985: *Theoretical model for relationship between mining seismicity and excavation area*. Acta Geoph. Pol., 33, s. 231—242.
- KIJKO A., DRZEŻLA B., MENDECKI A., 1985: *Dlaczego rozkłady ekstremalnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach mają charakter bimodalny*. Acta Montana, A(71), s. 225—244.
- KIJKO A., DRZEŻLA B., MENDECKI A., 1986: *Bimodalny charakter ekstremalnych rozkładów zjawisk sejsmicznych w kopalniach*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., M-8, s. 91—102.
- KIJKO A., DRZEŻLA B., STANKIEWICZ T., 1987: *Bimodal character of extremal seismic events in Polish mines*. Acta Geoph. Pol., 35, s. 1157—1168.
- KOTAS A., 1972: *Ważniejsze cechy budowy geologicznej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle pozycji tektonicznej i budowy głębokiego podłoża utworów produktywnych*. W: *Materiały Sympozjum nt. „Problemy geodynamiki i tąpnięć I”*. Kraków, PAN, s. 5—55.
- KOWALCZYK Z., 1972: *Badania ruchów tektonicznych na terenie Śląska metodami geodynamiki*. W: *Materiały Sympozjum nt. „Problemy geodynamiki i tąpnięć I”*. Kraków, PAN, s. 114—125.
- LASOCKI S., 1988: *Rozkład energii wstrząsów górniczych z rejonu eksploatacji*. W: *„Zeszyty Naukowe AGH”*. Seria: *Górnictwo*. Z. 141. Kraków, AGH, s. 131—140.
- LASOCKI S., 1992: *Weibull distribution for time intervals between mining tremors*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., M-16, s. 241—260.
- LASOCKI S., IDZIAK A.F., 1998: *Dominant directions of epicenter distribution of regional mining induced seismicity series in Upper Silesian Coal Basin in Poland*. Pageoph, 153, s. 21—40.
- MARCAK H., 1985: *Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcia i wstrząsy w kopalniach*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., M-6, s. 149—173.
- MCGARR A., 1984: *Some application of seismic source mechanism studies to assessing underground hazard*. In: *Proc. 1th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines*. Eds. P. GAY, R. WAINWRIGHT. Johannesburg, SAIMM Kelvin House, s. 45—50.
- MUTKE G., STEC K., 1997: *Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events*. In: *Proc. 4th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines*, Kraków. Eds. S.J. GIBOWICZ, S. LASOCKI. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 213—217.
- PIERWOŁA J., 1998: *Geologiczne uwarunkowania rozkładów energetycznych wstrząsów indukowanych działalnością górniczą na Górnym Śląsku*. Sosnowiec, Uniwersytet Śląski, WNoZ [praca doktorska — niepublikowana].
- PILECKA E., PIĄTKOWSKA A., STEC K., BUŁA Z., PILECKI Z., KRÓL M., 2006: *Związek lineamentów z sejsmicznością indukowaną na terenach górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Kraków, Wyd. IGSMiE PAN, 125 s.
- RYDER J.A., 1988: *Excess shear stress in the assesment geologically hazardous situations*. J. South Afr. Inst. Min. Met., 88, 1, s. 27—39.
- SAGAN G., TEPPER L., ZUBEREK W.M., 1996: *Tectonic analysis of the mine tremor mechanisms from the Upper Silesian Coal Basin*. Pageoph., 147, s. 217—238.
- STANKIEWICZ T., 1989: *Stochastyczny model aktywności sejsmicznej i jego zastosowanie do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach*. Warszawa, Instytut Geofizyki PAN [praca doktorska — niepublikowana].
- STEC K., 1994: *Wpływ parametrów mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa [praca doktorska — niepublikowana].
- STEC K., 2007: *Characteristics of seismic activity of the Upper Silesian Coal Basin in Poland*. Geoph. J. Int., 168, s. 757—768.
- SYREK B., KIJKO A., 1988: *Energetyczno-częstotliwościowe rozkłady aktywności sejsmicznej i ich związek z zagrożeniem tąpnięciami (na przykładzie wyrobisk ścianowych KWK Wujek)*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., M-10, s. 281—298.
- TEISSEYRE R., 1972: *Badania sejsmologiczne w rejonach eksploatacji górniczej*. W: *Materiały Sympozjum nt. „Problemy geodynamiki i tąpnięć I”*. Kraków, PAN, s. 56—74.
- TEISSEYRE R., 1983: *Indukowana sejsmiczność i wstrząsy pochodzenia eksploatacyjnego*. W: *Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi*. 2. Warszawa, PWN, s. 254—260.
- TEPPER L., 1998: *Wpływ nieciągłości podłoża karbonu na sejsmotektonikę północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice, Uniwersytet Śląski.

- TEPER L., IDZIAK A.F., 1995: *On fractal geometry in fault systems of the Upper Silesian Coal Basin — Poland*. In: *Mechanics of Jointed and Faulted Rocks*. 2. Ed. H.P. ROSS-MANITH. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 329—333.
- TEPER L., IDZIAK A.F., SAGAN G., ZUBEREK W.M., 1992: *New approach to the studies of the relations between tectonics and mining tremors occurrence on example of Upper Silesian Coal Basin (Poland)*. *Acta Montana*, A(88), s. 161—178.
- WIEJACZ P., ŁUGOWSKI A., 1997: *Effects of geological and mining structures upon mechanism of seismic event at Wujek coal mine. Katowice, Poland*. In: *Proc. 4 th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines, Kraków*. Eds. S.J. GIBOWICZ, S. LASOCKI. Rotterdam—Brookfield, Balkema, s. 27—30.
- WIERZCHOWSKA Z., 1961: *Przyczyny wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku*. Prace GIG, A, Komunikat nr 268.
- WIERZCHOWSKA Z., ZNAŃSKI J., 1972: *Pochodzenie wstrząsów górotworu w polskim zagłębiu węglowym*. W: *Materiały Sympozjum nt. „Problemy geodynamiki i tąpnięć”*. 1. Kraków, PAN, s. 126—174.
- ZUBEREK W.M., 1986: *Możliwość wykorzystania asymptotycznych rozkładów wartości ekstremalnych do oceny prawdopodobieństwa występowania wstrząsów indukowanych eksploatacją górniczą*. W: „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria: *Górnictwo*. Z. 139. Gliwice, Politechnika Śląska, s. 243—254.
- ZUBEREK W.M., 1993: *Geofizyczne modele wstrząsów indukowanych na powierzchni uskoku eksploatacją górniczą*. W: „Geologia”. T. 12/13. Red. Ł. KARWOWSKI. Katowice, Uniwersytet Śląski, s. 231—254.
- ZUBEREK W.M., TEPEL L., IDZIAK A.F., SAGAN G., 1996: *Tectonophysical approach to the description of mining induced seismicity in the Upper Silesia*. In: *Tectonophysics of Mining Areas*. Ed. A. IDZIAK. Katowice, Uniwersytet Śląski, s. 79—98.
- ZUBEREK W.M., TEPEL L., IDZIAK A.F., SAGAN G., 1997: *Seismicity and tectonics in the Upper Silesian Coal Basin, Poland*. In: *Proc. XIII Int. Congress of Carboniferous Permian, Kraków*. Prace PIG, 157, s. 199—207.

Wacław M. Zuberek